

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
ТРЕХКОРПУСНОЙ ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГЛЮКОЗНЫХ  
СИРОПОВ

А.П.Ладанюк, Д.И.Скобло

(Киевский технологический институт пищевой промышленности)

Исследована выпарная установка, состоящая из трех одинаковых корпусов с поверхностью нагрева по  $100 \text{ м}^2$  (рис.1). В выпарной установке происходит сгущение поступающего глюкозного сиропа от содержания 21 - 23% СВ до содержания 56% СВ, при этом ее работа характеризуется определенным температурным режимом [1].

Все параметры, характеризующие выпарную установку, можно разделить на:

а) регулируемые - концентрация густого сиропа  $b_3$ , температура кипения сиропа по корпусам  $t_{ki}$  ( $i = 1, 2, 3$ ), уровень сиропа по корпусам  $h_i$ ;

б) регулирующие - давление пара в греющей камере первого корпуса  $p_{n1}$ ; разрежение в надсиропном пространстве третьего корпуса  $p_{змз}$ , сток сиропа из корпуса  $S_i$ ;

в) возмущающие - изменения концентрации и расхода поступающего сиропа  $b_0$  и  $S_0$ , изменение давления греющего пара в коллекторе  $p_{кол}$ , изменение температуры поступающего сиропа  $t_0$ , изменение условий теплопередачи по корпусам (например, вследствие накипеобразования) и др.

При изучении переходных процессов нами был применен экспериментальный метод для теплообменной части выпарной установки и налитический - для массообменной части [2, 3].

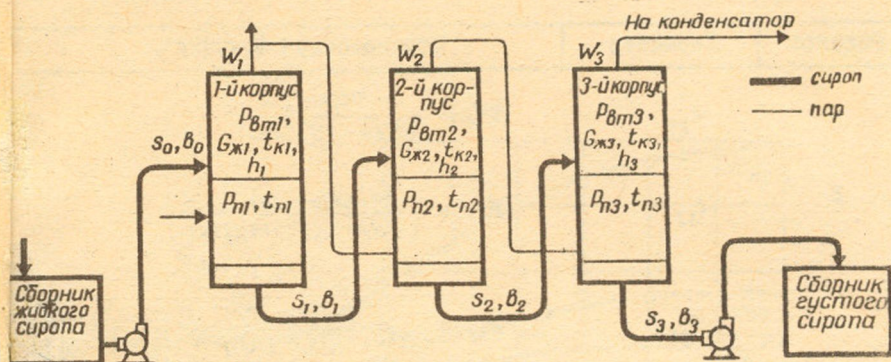


Рис.1. Технологическая схема выпарной установки.

При экспериментальном исследовании были определены кривые разгона по каналам

$$t_{ki} = \int_1 (\rho_{n1}), \quad (1)$$

$$t_{kl} = \int_2 (\rho_{m3}),$$

а также по каналу: изменение давления  $\rho_{n1}$  (или соответствующей температуры  $t_{n1}$ ) при изменении положения регулирующего клапана на паропроводе коллектор - первый корпус выпарной установки. По экспериментальным кривым разгона известным методом Симюк [4] получены передаточные функции по каналам исследования вида

$$W(\rho) = \frac{K_{од} \Delta y_{exp} (-\rho \tau_{зан})}{\prod_{i=1}^n (T_i \rho + 1)}, \quad (2)$$

где  $K_{од}$  - коэффициент передачи объекта по исследуемому каналу;  $\Delta y$  - скачкообразное изменение возмущающего воздействия;  $\tau_{зан}$  - время чистого запаздывания;  $\rho$  - оператор Лапласа;  $n$  - порядок уравнения;  $T_i$  - постоянные времени.

Все перечисленные величины определялись из экспериментальных кривых разгона.

Полученные таким образом передаточные функции приведены в таблице, а экспериментальные кривые разгона по каналам  $t_{ki} = f_1(\rho_{mi})$  и  $t_{ki} = f_2(\rho_{smg})$  - на рис. 2, 3.

Передаточные функции выпарной установки

Рисунок	Параметр	Передаточная функция
2	$t_{k1}$	$W(\rho) = \frac{10 \exp(-5\rho)}{(110\rho+1)(37\rho+1)}$
	$t_{k2}$	$W(\rho) = \frac{7,1 \exp(-4,0\rho)}{(129\rho+1)(57\rho+1)(21\rho+1)}$
	$t_{k3}$	$W(\rho) = \frac{54 \exp(-7,0\rho)}{(155\rho+1)(79\rho+1)(31\rho+1)(18\rho+1)}$
3	$t_{k1}$	$W(\rho) = \frac{0,016 \exp(-5,8\rho)}{(14,6\rho+1)(72\rho+1)(31\rho+1)(18\rho+1)}$
	$t_{k2}$	$W(\rho) = \frac{0,03 \exp(-4,2\rho)}{(13,8\rho+1)(61\rho+1)(29\rho+1)}$
	$t_{k3}$	$W(\rho) = \frac{0,07 \exp(-1,0\rho)}{(15,2\rho+1)(63\rho+1)}$

Из передаточной функции вида (1) можно получить динамические характеристики, подставив преобразованное по Лапласу возмущающее воздействие и выполнив обратное преобразование Лапласа. В частности, для ступенчатого входного воздействия переходная функция им имеет вид

$$\chi(\tau) = C_0 - \sum_{i=1}^n C_i \exp\left(-\frac{\tau - \tau_{zap}}{\tau_i}\right), \quad (3)$$

где  $\chi(\tau)$  - текущее значение выходной координаты;  $C_0$  и  $C_i$  - постоянные коэффициенты.

Выражения (2) и (3) дают возможность рассчитать переходные процессы вычислительными машинами, причем выражение типа (2) применимо для расчетов на цифровых вычислительных машинах, что дает возможность получить точное решение.

Аппроксимация динамических свойств выпарной установки выражениями (1) и (2) выполняется в предположении, что эти свойства описываются обыкновенными линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами при нулевых начальных условиях.

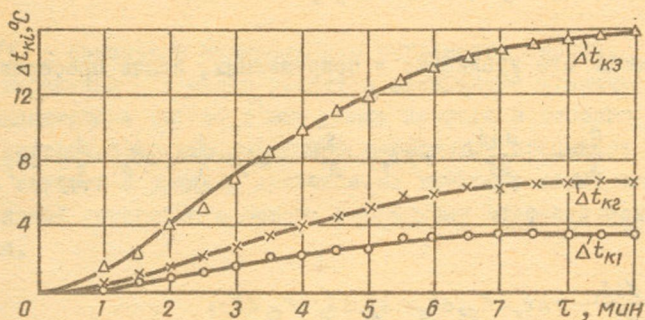


Рис.2. Кривые разгона выпарной установки по каналу  $t_{k1} = f_1(\rho_{m1})$

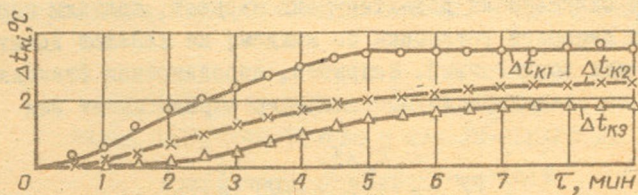


Рис.3. Кривые разгона выпарной установки по каналу  $t_{k1} = f_2(\rho_{ам3})$

Дифференциальные уравнения, описывающие изменение концентрации сиропа по корпусам выпарной установки, можно получить, исходя из материального баланса сухих веществ в растворе за бесконечно малый промежуток времени  $d\tau$ . Например, для первого корпуса:

$$G_{\text{ж}} db_1 + S_1 b_1 d\tau = S_0 b_0 d\tau. \quad (4)$$

Записав это уравнение в приращениях, после преобразований получим:

$$\frac{G_{\text{ж}}}{S_{10}} \frac{d\Delta b_1}{d\tau} + \Delta b_1 = \frac{S_{00}}{S_{10}} \Delta b_0 + \frac{b_{00}}{S_{10}} \Delta S_0 - \frac{b_{10}}{S_{10}} \Delta S_1, \quad (5)$$

или

$$T_{\delta 1} \frac{d\Delta b_1}{d\tau} + \Delta b_1 = K_{\delta 1} \Delta b_0 + K_{\delta 2} \Delta S_0 - K_{\delta 3} \Delta S_1,$$

где  $G_{\text{ж}}$  - вес сиропа в аппарате;  $S_{00}$ ,  $S_{10}$  - базисные значения притока сиропа в первый корпус и стока с него;  $T_{\delta 1}$  - постоянная времени;  $b_{00}$ ,  $b_{10}$  - базисные значения концентрации поступающего и находящегося в аппарате сиропа.

Аналогичные уравнения получаются для второго и третьего корпусов. Приняв допущение, что выпарную установку можно представить в виде трех статических детектирующих звеньев, получим передаточную функцию выпарной установки по каждому из каналов возмущающих и регулирующих воздействий. Например, передаточная функция при возмущении по концентрации поступающего сиропа имеет вид

$$W(\rho) = \frac{K_{\delta} \Delta b_0}{(T_{\delta 1} \rho + 1)(T_{\delta 2} \rho + 1)(T_{\delta 3} \rho + 1)}, \quad (7)$$

где  $K_{\delta}$  - общий коэффициент передачи выпарной установки, равный произведению коэффициентов передачи отдельных корпусов по исследуемому каналу;  $T_{\delta i}$  - постоянные времени корпусов ( $i = 1, 2, 3$ ).

Если принять, что  $\Delta b_0$  изменилось скачком, то переходный процесс можно представить в виде

$$\Delta \delta_3(\tau) = K_g \Delta \delta_0 \left\{ 1 - \left[ \frac{T_1^2}{(T_1 - T_2)(T_1 - T_3)} \exp\left(-\frac{\tau}{T_1}\right) + \frac{T_2^2}{(T_2 - T_1)(T_2 - T_3)} \exp\left(-\frac{\tau}{T_2}\right) + \frac{T_3^2}{(T_3 - T_1)(T_3 - T_2)} \exp\left(-\frac{\tau}{T_3}\right) \right] \right\}, \quad (8)$$

где  $\Delta \delta_3(\tau)$  — изменение концентрации выходящего сиропа.

Из выражения (7) можно получить переходные функции для изменения концентрации сиропа также после первого и второго корпусов.

Предлагаемая методика расчета переходных процессов дает возможность изучать с помощью электронных вычислительных машин свойства выпарной установки и синтез ее системы автоматического регулирования.

#### Л и т е р а т у р а

1. Л а д а и ю к А.П., С а с и н Н.Д., Ф а р а г о в с к а я А.М. Система автоматического регулирования выпарной установки для глюкозных сиропов. — Сахарная промышленность, 1969, 10.
2. С е р о в Е.П., К о р о л ь к о в Б.П. Динамика процессов в тепло- и массообменных аппаратах. "Энергия", М., 1967.
3. Э р р и о т П. Регулирование производственных процессов. "Энергия", М., 1967.
4. С и м о в М.П. Определение передаточных функций по временным характеристикам линеаризованных систем. — Приборостроение, 1958, 3.